

LAMINACION DE CRECIDAS Y RIADAS ARTIFICIALES

Por JOAQUIN FERNANDEZ-MORENO

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

El autor llega en este artículo a unas fórmulas prácticas para calcular rápidamente las posibilidades de laminación de crecidas, y en el último apartado del artículo hace una serie de consideraciones sobre riadas artificiales por apertura de compuertas, concretando el problema hasta llegar a una fórmula que proporciona la avenida máxima artificial en función de las características del vaso y de los elementos de evacuación.

a) Generalidades.

El temor a provocar una riada catastrófica aguas abajo de una presa por la apertura intempestiva de las compuertas es una de las razones para limitar la capacidad de evacuación normal de los aliviaderos.

La laminación de ondas de riada, la capacidad de los elementos de evacuación, el resguardo respetado para la laminación y las características del vaso y cuenca están íntimamente ligados entre sí.

Es evidente que para hacer un cálculo correcto de laminación de una onda de avenida tendremos que partir de una determinación de dicha onda; de la precisión con que podamos definirla dependerá la exactitud de los resultados obtenidos.

Cuando hablamos de laminaciones, nos referimos a riadas correspondientes a períodos de recurrencia superiores a cincuenta años, ya que las avenidas de menor entidad no necesitan normalmente ser laminadas, salvo en casos en que el dispositivo hidráulico esté concebido para este único efecto.

A pesar de que cada cuenca tiene sus características propias, que hace variable la relación entre la riada correspondiente a un cierto período con el caudal medio del año, y aunque tampoco es constante la relación entre las avenidas de dos períodos de recurrencia fijados *a priori*, sobre poco más o menos el orden de magnitud de la relación entre la riada de quinientos años y la de cien es de 1,25, y la relación entre la riada de los cien años y la de cincuenta es del orden de 1,10, en términos generales.

Particularmente creemos que estas relaciones amentan al disminuir la superficie de la cuenca y disminuyen al aumentar ésta.

Sin embargo, establecemos este orden de magnitud, pues lo creemos interesante para poder juzgar sobre las fórmulas a que llegaremos.

Asimismo, podemos prejuizar que una onda de avenida secular es del orden de 30 a 50 veces el caudal medio y que normalmente el caudal máximo utilizado, tanto en riegos como en producción de energía eléctrica es normalmente de dos a cuatro veces el caudal medio del río, en las cuencas españolas que hemos estudiado.

Para fijar las características de las riadas extraordinarias, tanto el valor de su punta como su duración, pocas veces nos encontraremos con datos suficientes. Pero cada vez vamos teniendo más cifras, y más medios que nos llevarán a fijar con bastante rigor estadístico el valor de la punta máxima de un período de recurrencia fijado.

Igualmente la técnica actual está avanzando en el cálculo de previsión de riadas, no sólo en el aspecto de anunciar con precisión la llegada a un embalse de una crecida producida ya, sino también en el cálculo probabilístico de una posible avenida en un punto determinado.

Y creemos que pronto no sólo hablaremos de la riada de los cien o de los quinientos años, sino de la riada horaria de los cien o quinientos años de un mes determinado del año en cada cuenca.

Esto quiere decir que no debemos tomar las mismas precauciones de explotación de un embalse en una época del año en que la riada de un determinado período sea la máxima, que en aquella estación en que dicha avenida sea mucho menos probable (período de recurrencia más largo) y aun prácticamente imposible en algunos casos definidos.

Durante la explotación de los embalses todo cuanto antecede se puede ir concretando y afinando mediante los mapas de tormentas de la región, aforos en numerosos puntos, pluviómetros, totalizadores, lisímetros, etc., y una organización de explotación hidráulica.

Pero al proyectar no tendremos, en general, tantos medios y, generalmente, será en el momento de iniciar un estudio cuando se propondrán el establecimiento de las estaciones de observación que le servirán en su día a la explotación para ir teniendo los datos convenientes.

b) *Laminación.*

Supongamos que se nos presenta una riada como la dibujada en el hidrograma de la figura 1.

El embalse lo tendremos a una cota igual o inferior a la que corresponda a una capacidad de evacuación, que llamaremos caudal normal Q_n y que será, generalmente del orden de la avenida de los cincuenta años en la época del año que consideremos.

Por tanto, hasta el instante t_1 podremos mantener el nivel del embalse levantando progresivamente las compuertas del aliviadero, de modo que los caudales de

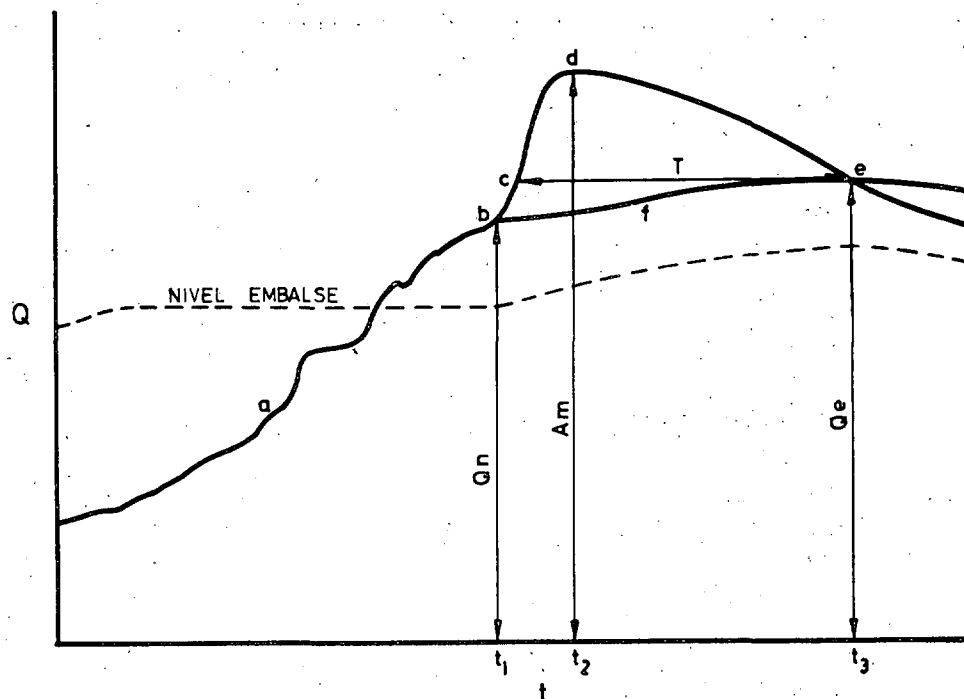


Figura 1.

entrada sean iguales a los evacuados por todos los elementos de desagüe de la presa que consideremos.

Pero desde el instante t_1 las compuertas estarán totalmente levantadas y el nivel del embalse empezará a subir, y asimismo, el caudal desagüado.

Siendo la curva b, c, d, e el hidrograma de los caudales de entrada y b, f, e el de los de salida, el área b, c, d, e, f, b representa el volumen retenido desde el instante t en que el caudal de entrada es superior al de salida hasta el momento en que, al dejar de serlo, comienza a descender el nivel del embalse, después de pasar por t_2 , que corresponde a la punta de la avenida máxima A_m , pero que no coincide evidentemente con la máxima altura del embalse ni consiguientemente con el momento de mayor caudal evacuado.

Es decir, que el área b, c, d, e, f, b es el resguardo del embalse R_E , o sea el volumen comprendido entre la cota capaz de evacuar por los desagües un caudal Q_n y aquélla en que este caudal se convierte en Q_e .

Por tanto:

$$R_E = \text{área } c, d, e + \text{área } c, b, f, e = \alpha \times 3600 T \times (A_m - Q_e) + \beta \times 3600 T (Q_e - Q_n)$$

De donde deducimos:

$$A_m = \frac{R_E}{3600 \cdot \alpha \cdot T} + \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) (Q_e - Q_n) + Q_n$$

Con la condición $A_m \geq Q_e$.

En ella R_E está en metros cúbicos, A_m , Q_e y Q_n en metros cúbicos; segundo y T en horas.

Q_e y Q_n son datos conocidos, en cuanto fijemos los niveles normal y máximo del embalse; y T tendremos que inferirlo o fijarlo para cada tanteo que realicemos.

Los parámetros α y β son dos coeficientes de forma. El primero depende exclusivamente del hidrograma en su zona superior a Q_e , y en el segundo intervienen, además, la curva de volúmenes-altura de embalse y la de caudal evacuado en función de la cota del espejo.

La fijación del coeficiente α es difícil de establecer si tenemos en cuenta que se trata de riadas que, en general, no tendremos nunca registradas. Pero por analogía con avenidas de menor período de recurrencia debemos de admitir que su valor no diferirá mucho de los $2/3$, para comprobar lo cual basta dibujar una serie de hidrogramas históricos y extrapolar a los valores que nos interesan.

Realmente este parámetro α está ligado al intervalo de tiempo T , pues lo determinante es el área c, d, e , y este área, integrada por rebanadas horizontales, es la máxima aportación del río en un período de T horas consecutivas. Tema éste que juzgamos muy interesante y que aunque no lo tenemos aún estudiado suficientemente creemos que es bastante sugestivo para exponerlo en algún otro trabajo, siquiera sea como iniciación de un nuevo camino.

En cuanto al coeficiente β , si bien puede ser más variable, tampoco puede diferir mucho del valor 0,5.

Sin embargo, para dar alguna mayor seguridad a la fórmula y al mismo tiempo trabajar con coeficientes de ésta sencillos, damos a α el valor $\frac{25}{36} = 0,695$ y a β el valor $\frac{0,7 \times 25}{36} = 0,486$.

Llegamos así a la siguiente fórmula, que proponemos:

$$A_m = 0,0004 \frac{R_E}{T} + 0,3 (Q_e - Q_n) + Q_n$$

Aun suponiendo que tanteemos una laminación muy fuerte, por ejemplo, $Q_e = 1,25 Q_n$, suponiendo correcto el coeficiente α , el error a cometer por imprecisión en la determinación del coeficiente β , sería:

$$\frac{A_{m\beta}}{A_{mF}} = \frac{0,0004 \frac{R_E}{T} + 1,075 Q_n}{0,0004 \frac{R_E}{T} + (1,25 - 0,36\beta) Q_n}$$

Siendo $A_{m\beta}$ la riada laminable con un coeficiente β indeterminado y A_{mF} la correspondiente a la fórmula propuesta.

Pero como:

$$A_m \geq Q_e$$

$$0,0004 \frac{R_E}{T} + 1,075 Q_n \geq Q_n$$

de donde en el caso de esta fuerte laminación:

$$0,0004 \frac{R_E}{T} \geq 0,175 Q_n$$

y el error cometido sería menor que:

$$\frac{A_{m\beta}}{A_{mF}} = \frac{0,175 Q_n + 1,075 Q_n}{0,175 Q_n + (1,25 - 0,36 \beta) Q_n} = \frac{1,25}{1,425 - 0,36 \beta}$$

Y esta fracción tiene los siguientes valores:

β	$\frac{A_{m\beta}}{A_{mF}} \rightarrow \frac{1,25}{1,425 - 0,36 \beta}$
$\beta = 0,40$	0,97
$\beta = \frac{0,7 \times 25}{36} = 0,486$...	1,00
$\beta = 0,50$	1,004
$\beta = 0,60$	1,03

Lo que indica que cuando el valor de β fluctúa entre 0,4 y 0,6 los errores a cometer son pequeños hidrológicamente hablando, por lo cual no consideramos necesaria más exactitud en el planteamiento, aunque reconocemos que el razonamiento deja que desear desde el punto de vista del rigor matemático.

Pero podemos asegurar que es difícil encontrar un diagrama donde β pueda diferir tanto de 0,50.

Con esta fórmula, mejor dicho con otra muy parecida que conceptualmente es la misma, pero no tan puesta a punto, hemos realizado numerosos tanteos de laminación de riadas llegando rápidamente a los mismos resultados que por el clásico procedimiento de diferencias finitas. Asimismo la ha empleado varias veces el grupo de presas de AUXINI con evidente eficacia.

Réstanos, sin embargo, decir que no es aplicable cuando la relación $Q_e : Q_n$ es muy grande, por lo que no es válida para estimar, por ejemplo, la altura máxima de un embalse en construcción durante una riada a pesar de tener bien definidas las curvas de caudales alturas del desvío del río y de los demás órganos provisionales de desagüe.

Cuando los caudales de turbinas, desagües de fondo, etc., sean despreciados con relación al del aliviadero de superficie y queramos hacer un tanteo aún más rápido de la capacidad de laminación, podremos proceder como sigue:

Llamemos h a la altura normal del embalse sobre el labio fijo; es decir, la altura de lámina que da un caudal Q_n .

Y sea $h + \Delta h$ la altura que toma el espejo sobre la cresta del aliviadero rectangular de lámina libre cuando el embalse llegue a la máxima altura y, por tanto, vierta Q_e m.³/seg.

Sin grave error podemos suponer que:

$$\frac{Q_e}{Q_n} = \left(\frac{h + \Delta h}{h} \right)^{3/2}$$

y para valores de $\frac{Q_e}{Q_n} \leq 1,25$, lo que equivale a $\frac{h + \Delta h}{h} \leq 1,25^{2/3} = 1,16$, podemos hacer:

$$\left(\frac{h + \Delta h}{h} \right)^{3/2} = \left(1 + \frac{\Delta h}{h} \right)^{3/2} \approx 1 + \frac{3}{2} \frac{\Delta h}{h} \rightarrow Q_e = Q_n \left(1 + \frac{3}{2} \frac{\Delta h}{h} \right)$$

Por otra parte, $R_E = S \times \Delta h$, siendo S la superficie del embalse a la cota $h + \frac{\Delta h}{2}$ sobre el labio del aliviadero.

Y entonces la fórmula:

$$A_m = 0,0004 \frac{R_E}{T} + 0,3 (Q_e - Q_n) + Q_n$$

se nos convierte en:

$$A_m = 0,0004 \frac{S \cdot \Delta h}{T} + \left(1 + 0,45 \frac{\Delta h}{h}\right) Q_n$$

Si nos fijáramos la condición de evacuar una riada de las características A_m , T y Q_n y dentro de los límites fijados anteriormente, podremos calcular rápidamente la sobreelevación del embalse, ya que de la fórmula anterior se deduce:

$$\Delta h = \frac{(A_m - Q_n) h \cdot T}{0,0004 S \cdot h + 0,45 T Q_n}$$

En ambas fórmulas, h y Δh están en metros, A_m , Q_n están en $m^3/\text{seg.}$ y T en horas.

En cuanto a S , que está expresado en metros cuadrados, podemos fijarlo en la superficie del embalse a una altura $h + \frac{\Delta h}{2}$ que estableceremos *a priori*, sin que sea necesario rectificar para iterar la fórmula, ya que en ésta se ve que el error relativo de Δh es menor que el que se introduce por la estimación de S .

c) Riadas artificiales.

Hemos visto en el apartado anterior que la posibilidad de laminar una riada depende, en una parte muy importante, de la superficie S del embalse. A mayor superficie de embalse corresponde menor incremento de altura en igualdad del resto de las condiciones.

Pero por análogas razones, una apertura progresiva de compuertas con un espejo muy pequeño no podrá provocar una riada artificial catastrófica, pues antes de levantarlas totalmente habremos vaciado, en gran parte, el embalse.

Y para un espejo muy grande y una apertura muy rápida de compuertas, la riada provocada se acercará mucho a la capacidad de desagüe del aliviadero con la cota inicial de la maniobra.

Vamos a entrelazar todas estas variables para concretar qué pasa cuando la superficie del embalse no es ni muy grande ni muy pequeña y a ver lo que ocurre cuando en un embalse lleno hasta la cota h_0 sobre el umbral del aliviadero se abren las compuertas de superficie de un modo inoportuno e intempestivo provocando una riada artificial.

No tenemos en cuenta la aportación del río en ese momento suponiendo que es muy pequeña en relación con la capacidad de desagüe de los aliviaderos de su-

perficie y que éstos son los únicos, o tan importantes como para haber podido laminar las riadas de acuerdo con el caso anterior.

Según la figura 2, llamamos h_0 al nivel del embalse en el instante en que se

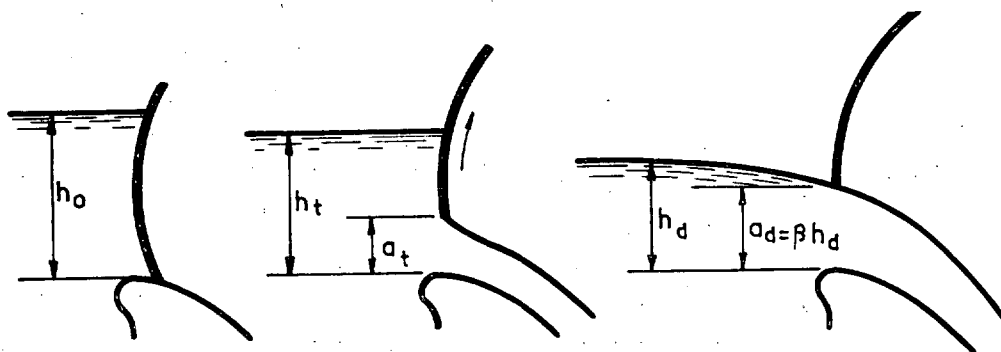


Figura 2.

empiezan a abrir las compuertas. Este nivel irá bajando progresivamente a medida que la abertura de compuertas va aumentando hasta llegar al momento en que se despegue la lámina. Llamamos h_d a la altura del embalse en ese instante y a la abertura de compuertas correspondiente la llamaremos a_d .

El caudal irá aumentando como se indica en la figura 3, hasta que es-

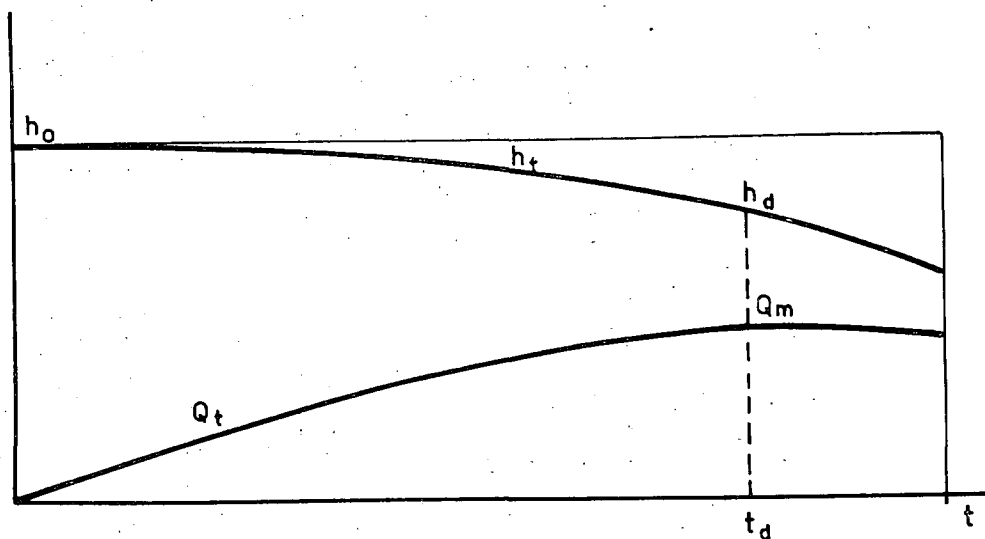


Figura 3.

temos en régimen de lámina libre y, por tanto, la riada artificial máxima Q_m corresponde al momento de despegarse las compuertas.

Supongamos que las compuertas se levantan a una velocidad uniforme $v = \frac{h_0}{T}$, siendo T el tiempo necesario para hacer la maniobra completa.

En cualquier momento el volumen de agua salida por compuertas será la disminución de la capacidad del embalse, es decir:

$$\int_0^t Q_t dt = \int_{h_0}^{h_0 - ht} S dh. \quad (1)$$

Siendo S la superficie del espejo a la cota h .

El caudal Q_t en función de la abertura a_t y la altura h_t no podemos calcularlo más que determinándolo mediante ensayos en modelo reducido. Depende de las condiciones de alimentación del aliviadero, de la forma de las pilas, del perfil de la cresta y del ángulo de incidencia de las compuertas para cada a_t y para cada h_t . De los ensayos deduciremos un gasto del aliviadero durante la apertura al que podríamos, con la precisión que deseemos, expresar por una fórmula del tipo $G = \times g h_t^m \times a_t^n$.

Pero sin realizar un modelo, tendremos que emplear una de las fórmulas que normalmente se emplean y que son:

$$Q_1 = C_1 K_1 [h_t^{3,2} - (h_t - a_t)^{3,2}] = C_1 K_1 h_t^{3,2} \left[1 - \left(1 - \frac{a_t}{h_t} \right)^{3,2} \right],$$

donde C es un coeficiente de forma que depende de cuanto hemos dicho en el párrafo anterior y que normalmente es ligeramente creciente al aumentar la altura de compuertas. K_1 es un módulo dimensional que en la hipótesis de calcular el caudal por integración de rebanadas horizontales, suponiendo en cada rebanada la velocidad horizontal $\sqrt{2g(h_t - Z)}$, vale $K_1 = \frac{2}{3} L \sqrt{2g}$, siendo L la longitud de las compuertas.

En C_1 incluimos pérdidas de carga, contracción de lámina, etc., y suele valer de 0,55 a 0,70.

El producto $C_1 K_1$ será el coeficiente de descarga.

El desarrollo en serie de la fórmula anterior y tomando sólo el primer término nos da:

$$Q_2 = C_2 K_2 a_t \sqrt{h_t} = C_2 K_2 h_t^{3,2} \times \left(\frac{a_t}{h_t} \right),$$

siendo C_2 igualmente un coeficiente de forma y K_2 un módulo que en las mismas condiciones que en el caso anterior valdría $K_2 = L \sqrt{2g}$.

Esta segunda fórmula también es empleada por algunos autores, y a veces, como en el caso de compuertas con solera horizontal, el coeficiente C_2 llega a ser decreciente con el aumento de la apertura.

La relación entre una fórmula y otra es:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1 \times K_1 \times h_t^{3,2} \left[1 - \left(1 - \frac{a_t}{h_t} \right)^{3,2} \right]}{C_2 K_2 h_t^{3,2} \times \frac{a_t}{h_t}} = \frac{2}{3} \frac{C_1}{C_2} \frac{1 - \left(1 - \frac{a}{h_t} \right)^{3,2}}{\left(\frac{a_t}{h_t} \right)},$$

y llamando $\varphi = \frac{a_t}{h_t}$; esta última relación se convierte en:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{2}{3} \frac{C_1}{C_2} \frac{1 - (1 - \varphi)^{3,2}}{\varphi}.$$

Ahora bien, las compuertas se despegarán normalmente entre $\varphi = 0,60$ y $\varphi = 0,75$, dependiendo de la situación de las mismas, y de la forma de pilas, perfil del aliviadero, etc.

Y para distintos valores de φ y suponiendo una C_1 variable y creciente desde 0,55 a 0,67 equivaldría a suponer una C_2 prácticamente constante, según vemos en el cuadro adjunto, donde la variación de C_1 es del orden de magnitud que se da en muchos aliviaderos:

$\varphi = \frac{\alpha_t}{h_t}$	$2 \times C_1$	$1 - (1 - \varphi)^{3/2}$	$2 C_1 \times [1 - (1 - \varphi)^{3/2}]$	$3 C_2$	$3 C_2 \times \varphi$
0.1	1,10	0,147	0,161	1,70	0,165
0.2	1,16	0,285	0,331	1,70	0,330
0.3	1,20	0,414	0,497	1,70	0,495
0.4	1,24	0,535	0,660	1,70	0,660
0.5	1,27	0,646	0,825	1,70	0,825
0.6	1,30	0,747	0,970	1,70	0,990

O sea, que de no hacer ensayos en modelo reducido para fijar C , no podemos dudar de la validez de la fórmula:

$$Q_t = K \cdot \alpha_t \cdot \sqrt{h_t},$$

siendo K un coeficiente de descarga, que aconsejaríamos deducir para las compuertas abiertas al 60 por 100 de su altura, ya que en ese caso los errores serían mínimos y valedera hasta el momento del despegue con suficiente aproximación.

Por otra parte, el descenso del embalse no será muy grande y no vale la pena deducir la superficie del espejo en función de la altura y además las curvas de nivel del vaso ni serán tan precisas ni tan próximas como para mejorar:

$$\int_{h_t}^{h_0} S dh = S_m (h_0 - h_t),$$

siendo S_m la superficie del embalse a la cota $h_0 - 0,80 h_0$, por ejemplo.

Entonces la ecuación (1) se nos convierte en:

$$\int_0^t K \alpha_t \sqrt{h_t} dt = S_m (h_0 - h_t),$$

y suponiendo que las compuertas se abren a una velocidad $v = \frac{h_0}{T}$, que fijamos o nos viene dada:

$$\alpha_t = v t.$$

De donde:

$$\int_0^t K \cdot v \cdot t \cdot \sqrt{h_t} dt = S_m (h_0 - h_t),$$

siendo $h_t = f(t)$:

$$K \cdot v \int_0^t h_t t \cdot dt = S_m (h_0 - h_t),$$

y que integrada, resulta:

$$-S_m \frac{(h_t)^{1/2}}{\frac{1}{2}} + C = K v \frac{t^2}{2},$$

o sea:

$$h_t^{1/2} = h_0^{1/2} - \frac{K v t^2}{4 S_m} \quad (2)$$

ecuación que da la altura del embalse en función del tiempo en las condiciones fijadas anteriormente y válida únicamente hasta el momento del despegue de la lámina.

Este despegue de lámina se nos producirá para una abertura de compuerta $a_d = \beta h_d$.

Naturalmente β depende de la situación de las compuertas con relación a las pilas y a la cresta.

También es variable β con h_d , pero para el entorno del despegue la podemos fijar, pues no variará mucho, y tampoco será muy grande el descenso del embalse. Podríamos tantearla para $h_d = 0,8 h_0$ y $0,6 h_0$.

Fijada β , tiempo de despegue puede hallarse así:

$$a_d = v t_d = \beta h_d;$$

$$h_t = \frac{v t_d}{\beta},$$

y sustituyendo en (2), tendremos la ecuación que nos da el tiempo de despegue:

$$\left(\frac{v \cdot t_d}{\beta} \right)^{1/2} = h_t^{1/2} - \frac{K v t_d^2}{4 \cdot S_m} \quad \text{válida para } t_d < \beta T.$$

Para descensos de lámina muy pequeños, es decir, $h_t \geq 0,85 h_0$, lo que ya nos reduciría considerablemente la riada artificial, podríamos sustituir en la ecuación (2):

$$h_0^{1/2} - h_t^{1/2} \times \frac{h_0 - h_t}{2 h_0^{1/2}}$$

lo que equivale a suponer:

$$h_0^{1/2} \left[1 - \left(\frac{h_t}{h_0} \right)^{1/2} \right] \cong h_0^{1/2} \times \frac{1}{2} \left(1 - \frac{h_t}{h_0} \right)$$

es decir:

$$1 - \left(\frac{h_t}{h_0} \right)^{1/2} \cong \frac{1}{2} \left(1 - \frac{h_t}{h_0} \right)$$

Los valores que toman estas expresiones para:

$$\frac{h_t}{h_0} \geq 0,85$$

son los siguientes:

$\frac{h_t}{h_o}$	$1 - \left(\frac{h_t}{h_o}\right)^{1/2}$	$\frac{1}{2} \left(1 - \frac{h_t}{h_o}\right)$	$\left[1 - \left(\frac{h_t}{h_o}\right)^{1/2}\right] : \frac{1}{2} \left(1 - \frac{h_t}{h_o}\right)$
0,975	0,01258	0,025	1,0064
0,95	0,02532	0,050	1,0128
0,925	0,03823	0,075	1,0195
0,900	0,05132	0,100	1,0264
0,875	0,06459	0,125	1,0334
0,850	0,07805	0,150	1,0407

De esta forma llegamos a que la función que nos da el descenso de lámina con las hipótesis que venimos realizando es, aproximadamente:

$$h_t = h_o - \frac{h_o^{1/2} K v t^2}{2 S_m}$$

vale para el intervalo $h_o > h_t > 0,85 h_o$, y como el tiempo de despegue es:

$$t_d = \frac{\beta h d}{v}$$

$$h d = \frac{v \times t_d}{\beta}$$

obtenemos la ecuación:

$$\beta K h_o^{1/2} \cdot v \cdot t_d^2 + 2 \cdot S_m \cdot v t_d - 2 \beta h_o S_m = 0$$

y por tanto:

$$t_d = \frac{S_m}{\beta K h_o^{1/2}} \left[\sqrt{1 + \frac{2 \beta^2 h_o^{3/2} \cdot K}{S_m \times v}} - 1 \right]$$

que nos sirve para tantear rápida y aproximadamente si vale o no la pena tener en cuenta el efecto que estamos estudiando.

Conocido el tiempo de despegue, conoceremos el nivel del embalse en ese momento y con ello el caudal máximo de la avenida artificial.

Vemos por lo anteriormente expuesto que la riada artificial depende de la extensión del espejo, de la situación de las compuertas, es decir, β , de la velocidad de apertura y de la altura de la lámina inicial que implícitamente determina la longitud de los vanos.

Creemos que las ecuaciones que damos pueden ayudar a hacer rápidamente los tanteos necesarios para acercarnos al nivel de explotación más rentable, teniendo en cuenta las elevadas pérdidas que se producen al mantener el embalse

más bajo de lo debido por *temor a crear una riada artificial que a lo mejor no se puede producir*, o por lo menos se puede atenuar con una cuidadosa elección de la velocidad de elevación de las compuertas y de su altura cuando la superficie del embalse no sea muy grande.

Pueden paliarse también los efectos de la riada artificial evitando la posibilidad de abrir todas las compuertas simultáneamente, lo que equivale a disminuir la velocidad de elevación de las mismas, y en mucho menor grado adelantándolas hacia aguas arriba, de modo que se aumente el coeficiente que hemos llamado β .

Para el proyecto definitivo y para apurar los aprovechamientos actualmente en explotación a su máximo rendimiento sin provocar riadas artificiales, sería necesario hacer ensayos tridimensionales en modelo reducido para fijar los desagües en función de la cota de embalse y de la apertura de compuertas, y con los datos obtenidos hacer un modelo de similitud matemática con las hipótesis de apertura posibles.

En cuanto a realizar un enclavamiento de compuertas para evitar la apertura simultánea de todas ellas, parece obligado que lo tengamos en cuenta si para laminar las riadas suponemos alguna compuerta averiada, lo que representa un incremento de resguardo y coste que en parte podría paliarse con la ventaja que pueda representar al reconsiderar el nivel que puede ocasionar una riada artificial que origine en las instalaciones ribereñas daños superiores a los producidos por las avenidas naturales.